

Method of providing differential frequency adjusts in a thin film bulk acoustic resonator (FBAR) filter and apparatus embodying the method

Patent Number: ☐ US2002121944
Publication date: 2002-09-05
Inventor(s): LARSON JOHN D (US); BRADLEY PAUL D (US); RUBY RICHARD C (US)
Applicant(s):
Requested Patent: ☐ JP2002359539
Application Number: US20010799153 20010305
Priority Number(s): US20010799153 20010305
IPC Classification: H03H9/56
EC Classification: H03H9/17, H03H3/04
Equivalents: ☐ DE10207342, ☐ US6566979

Abstract

A method for fabricating a resonator, and in particular, a thin film bulk acoustic resonator (FBAR), and a resonator embodying the method are disclosed. A resonator is fabricated on a substrate, and its top electrode 56 is oxidized to form an oxide layer 58. For a substrate having multiple resonators, the top electrode 56 of only selected resonator is oxidized to provide resonators having different resonance frequencies on the same substrate

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2002-359539

(P2002-359539A)

(43) 公開日 平成14年12月13日 (2002. 12. 13)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H03H	9/17	H03H 9/17	F 5J108
H01L	41/08		B
	41/187	H01L 41/22	Z
	41/22		D
H03H	3/04	41/18 101	B
審査請求 未請求 請求項の数 11		O L (全 10 頁)	

(21) 出願番号 特願2002-57210 (P2002-57210)

(22) 出願日 平成14年3月4日 (2002. 3. 4)

(31) 優先権主張番号 799153

(32) 優先日 平成13年3月5日 (2001. 3. 5)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 399117121

アジレント・テクノロジーズ・インク

AGILENT TECHNOLOGIES, INC.

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト ページ・ミル・ロード 395

(72) 発明者 ジョン・ディー・ラーソン・サード

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロ・アルト テニーソン・アベニュー143

(74) 代理人 100105913

弁理士 加藤 公久

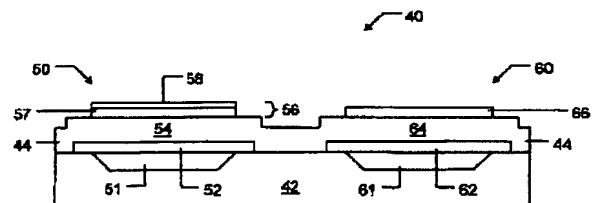
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 共振器の製造方法及び共振器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 同一基板上に構成される薄膜共振器の製造において、共振周波数が異なる複数の共振器を精密に作成する。

【解決手段】 振動子電極の質量負荷効果を利用して共振周波数を微調整する。質量負荷効果は電極を酸化する手段を用いる。共振器 (50) は、圧電 (PZ) 層 (54) を挟持する底部および表面電極 (56、52) を備え、前記表面電極 (56) が、導電体部分 (57) と酸化された導電体部分 (58) とを備えている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上に共振器を製造する方法において、前記基板上に第 1 の底部電極、第 1 の圧電（PZ）層および第 1 の表面電極を備えた第 1 の共振器を作り、前記基板上に第 2 の底部電極、第 2 の圧電（PZ）層および第 2 の表面電極を備えた第 2 の共振器を作り、前記第 1 の表面電極を前記第 1 の共振器の共振周波数を低下させるために酸化するようにした共振器の製造方法。

【請求項 2】さらに、前記第 2 の表面電極の酸化を防ぐために前記第 2 の表面電極をマスクによってマスキングする工程を含むようにした請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 3】前記マスクを除去する工程を含むようにした請求項 2 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 4】前記第 1 の表面電極が、モリブデンを含むようにした請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 5】前記第 1 の表面電極が、空気および熱に暴露されたとき漸進的に酸化する材料を含むようにした請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 6】前記第 1 の表面電極が、モリブデンを含み、前記基板が、約 1 時間約 300℃に加熱されて約 5 MHz だけ前記共振周波数を低下させるようにした請求項 1 に記載の共振器の製造方法。

【請求項 7】圧電（PZ）層を挟持する底部および表面電極を備え、前記表面電極が、導電体部分と酸化された導電体部分とを備えているようにした共振器。

【請求項 8】前記表面電極が、モリブデンを含むようにした請求項 7 に記載の共振器。

【請求項 9】前記 PZ 層が、窒化アルミニウム（AlN）を含むようにした請求項 7 に記載の共振器。

【請求項 10】前記導電体が、モリブデンを含み、前記酸化された導電体が、酸化モリブデンを含むようにした請求項 7 に記載の共振器。

【請求項 11】前記表面電極が、空気および熱に暴露されたとき漸進的に酸化する材料を含むようにした請求項 7 に記載の共振器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、音響共振器に関し、さらに詳しくは、電子回路におけるフィルタとして使うことができる共振器に関する。

【0002】

【従来の技術】電子機器のコストとサイズを低減する要求は、より小型な信号フィルタへの限らないニーズにつながる。セルラー電話や小型ラジオのような民生電子製品は、その製品に内蔵されている部品の大きさとコストにきびしい制限を与えられている。このような製品の多くは、精密な周波数に同調されなければならないフィルタを使っている。従って、安価で簡素なフィルタユニットを提供するために絶え間のない努力が続けられてい

る。

【0003】これらのニーズを満足させる可能性を持ったフィルタの一種類が、薄膜バルク音響共振器（FBAR）から構成されている。これらの装置は、薄膜圧電（PZ）材料中のバルク縦音波を用いている。その一つの簡単な構成において、PZ 材料の層が、二つの金属電極間に挟持されている。この挟持構造は、支持構造によって空气中に懸架されることが好ましい。電界が金属電極間に加えられるとき、PZ 材料が、電気エネルギーのいくらかをメカニカルウェーブの形に変換する。このメカニカルウェーブは、電界と同じ方向に伝播し、電極/空気インターフェースで反射する。

【0004】共振周波数において、装置は、電子的な共振器と考えられる。二つ以上の共振器（異なる共振周波数を有する）が電気的に接続されると、この集合体は、フィルタとして働く。共振周波数は、材料中におけるメカニカルウェーブの所定の位相速度に対して、装置内を伝播するメカニカルウェーブの $1/2$ 波長が装置の全体的な厚さに等しくなるような周波数である。メカニカルウェーブの速度は光速度よりも 4 桁小さいので、構成される共振器は、非常に簡素になる。GHz 範囲の共振器のアプリケーションは、横方向において $100\mu\text{m}$ 以下のオーダーのおよび厚さ方向において数 μm のオーダーの物理的な寸法を備えた共振器の構成を可能にする。

【0005】マイクロ波分野での小型のフィルタを設計して製造するとき、共振器（例えば、FBAR）間で、通常数%だけのほんの少し異なる共振周波数を備えるようにする必要をしばしば生じる。一般的に、二つ異なる周波数で十分であるが、より一般的なフィルタ設計では、それぞれ異なる共振周波数を備えた三つ以上の共振器を必要とすることがある。これらのフィルタにおいていつも存在する問題は、共振器の共振周波数を精密にずらすことと、同時に、単一のウェーハ上あるいは基板上にそれら共振器を作り上げることである。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】共振器の周波数が共振器の厚さに反比例することは、周知である。単一の基板上にずれた周波数を備えた多数の共振器を作るために、表面の金属電極を質量負荷する技術が、1999年4月20日に Lakin などに与えられた米国特許第 5,894,647 号に開示されている。しかしながら、それぞれの共振器が同一の基板上で異なる共振周波数を有するようにするために、さらに別の技術が求められる。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記ニーズは、この発明によって満足される。この発明の第 1 の特徴によれば、表面電極を備えた薄膜音響共振器（FBAR）における共振周波数を低下させる方法は、表面電極を酸化する工程を有している。

【0008】この発明の第 2 の特徴によれば、基板上に

共振器を製造する方法が、開示される。まず、基板上に第1の底部電極、第1の圧電(PZ)層および第1の表面電極を備えた第1の共振器が、作られる。次いで、第2の底部電極、第2の圧電(PZ)層および第2の表面電極を備えた第2の共振器が作られる。最終的に、第1の表面電極は、酸化されて第1の共振器の共振周波数を低下させる。

【0009】この発明の第3の特徴によれば、圧電(PZ)層を挟持している底部電極と表面電極を備えた共振器が開示される。表面電極は、導電体部分と酸化された導電体部分とを備えている。

【0010】この発明の第4の特徴によれば、第1の共振器と第2の共振器を備えた装置が開示される。第1の共振器は、第1の底部電極、第1の圧電(PZ)層および第1の表面電極を備え、この第1の表面電極は、導電体層と酸化された導電体層とを備えている。第2の共振器は、第2の底部電極、第2の圧電(PZ)層および第2の表面電極を備えている。

【0011】この発明の他の特徴および利点は、この発明の原理を実施例によって示すための添付の図面との組み合わせにおいて行われる以下の詳細な説明から明らかになるであろう。

【0012】

【発明の実施の形態】説明のための図面から明らかなように、本発明は、複数の共振器を単一の基板上に組立かつかつ異なる共振周波数を備える技術として実施される。

【0013】1. 圧電層に質量負荷する薄膜共振器の製造について

本発明の第1の実施例では、基板上に第1の共振器と第2の共振器を備えた装置が、開示されている。第1の共振器は、二つの電極と、これらの二つの電極に挟持された第1の圧電(PZ)層を備えている。第2の共振器は、二つの電極と、これらの二つの電極に挟持された第2のPZ層を備えている。この第1のPZ層は、コアPZ層と追加のPZ層を備え、第2のPZ層は、コアPZ層のみを備えている。従って、第1のPZ層は、第2のPZ層よりも厚く、第1の共振器は、第2の共振器の共振周波数よりも低い共振周波数を有している。

【0014】図1において、本発明の第1の実施例による装置10が示されている。装置10は、基板12上に形成された第1の共振器20と第2の共振器30とを備えている。一つの例として、基板12は、シリコン基板である。共振器20と30は、メカニカルウェーブを用いる音響共振器である。そのために、図示されている共振器20と30のそれぞれは、それぞれ空洞21と31の上に作られている。例えば、2002年5月9日にR u b y等に与えられた米国特許第6,060,818号は、この方法を示しており、本発明にも適用できるその他の詳細も開示されている。

【0015】本明細書の発明の実施の形態におよび他において、用語「第1の」および「第2の」は、類似した装置あるいは装置の部品における異なる存在を便宜的に区別するために使われ、これらの用語が使われる特定の文脈において適用されるものである。しかしながら、材料、処理、および、いずれかの部分において述べられている装置の様々な部品の一般的なおよび相対的な寸法および位置は、一区分において述べられたものであってもこの明細書を通じて使えるものとする。

10 【0016】第1の共振器20は、空洞21(「第1の空洞」)上をまたぐように作られ、底部電極22(「第1の底部電極」)、表面電極26(「第1の表面電極」)、および、第1の底部電極22と第1の表面電極26の間に挟持されたPZ材料を含んでいる。PZ材料は、PZ層14(「コアPZ層」)の部分24(「第1の部分」)および第1の部分24の上の追加のPZ層25を含んでいる。第1の部分24は、ほぼ第1の底部電極22の上に位置するPZ層14の一部分である。参照番号24は、PZ層14の第1の部分24の全般的な領域を指示す。

20 【0017】PZ層14、追加のPZ層、あるいは、その両方は、窒化アルミニウム(A1N)あるいは他の適当な圧電材料を用いて構成できる。電極、例えば第1の底部電極22は、モリブデンを使える。しかしながら、電極には他の適当な導電体も使うことができる。

【0018】第2の共振器30は、空洞31(「第2の空洞」)上に作られ、底部電極32(「第2の底部電極」)、表面電極36(「第2の表面電極」)、および、第2の底部電極32と第2の表面電極36の間に挟持されたPZ材料を含んでいる。PZ材料は、コアPZ層14の部分34(「第2の部分」)を含んでいる。第2の部分34は、ほぼ第2の底部電極32の上に位置するコアPZ層14の一部分である。参照番号34は、コアPZ層14の第2の部分34の全般的な領域を指示している。

40 【0019】第1と第2の共振器20と30の大きさは、必要な共振周波数に対応している。例えば、1900MHzの共振周波数を備える共振器に対しては、共振器20と30のそれぞれの大きさは、約30,000平方μmをカバーする約150×200μmとなる。このような周波数と大きさでは、電極22と26は、通常それぞれ約150nmの厚さとなり、コアPZ層14は、約2100nmの厚さとなる。1900MHzよりも3%程度低い共振周波数を得るためには、PZ材料の厚さは、約110nm増加する。すなわち、追加のPZ層の厚さは、コアPZ層14の厚さの約1~8%となる。これは、第1の共振器20についての説明である。もちろん、これらの測定値は、材料や共振周波数に応じて異なるものである。本発明の説明を明瞭なものとするために、図1の装置10の種々の部材は、装置の10における他の部材

と完全に縮尺が合っているわけではない。追加の PZ 層 25 の厚さは、コア PZ 層 14 の厚さに対して広い幅を有し得る、例えば、これに限定されないが、コア PZ 層 14 の 2~6% の範囲にできる。実際には、追加の PZ 層 25 の厚さは、コア PZ 層 14 の厚さの一桁以下となる傾向にある。

【0020】示されている実施例において、追加の PZ 層 25 は、第 1 の共振器 20 に対してのみ追加されている。

【0021】装置 10 を製造するために、空洞 21 と 31 は、エッチングされ、ガラスを充填されて後に溶解されるか他のやり方で除去されることによって空洞を形成する。次に、底部電極 22 と 32 が、写真製版技術のような従来周知の技術を用いて作られる。次いで、コア PZ 層 14 が、電極 22 と 32 の上に堆積される。PZ 材料の厚さの異なる共振器 20 と 30 を製造するためには、PZ 層の形成に多数の工程を必要とする。例えば、コア PZ 層 14 は、第 1 と第 2 の底部電極 22 と 32 の両方の上に堆積される。次いで、二酸化ケイ素 SiO_2 のような犠牲材料の薄層（マスク）が、コア PZ 層 14 20 の上に堆積される。この犠牲層は、図 1 には示されていないが、約 20nm の厚さである。犠牲層は、コア PZ 層 14 の第 1 の部分 24 を露出するようなパターンを備えており、第 1 の部分 24 は、共振周波数が低くなるような共振器のための PZ 材料である。これは、この実施例においては第 1 の共振器 20 である。

【0022】次に、追加の PZ 材料（A1N のような）が、この実施例において約 110nm の追加の PZ 層 25 を形成する基板全体に堆積される。次に、装置 10 は、追加の PZ 層 25 が残されるべき領域を保護するように 30 フォトリソストを用いてパターン化されるために、装置 10 は、犠牲層を除去するようにエッチング剤によって処理される。エッチング剤は、希釈されたフッ化水素酸（HF）であって、この HF の濃度に対応して約 1 分間程度の処理を受ける。そのようにすることで、追加の PZ 材料が、共振周波数が変化されない第 2 の共振器 30 上から除去される。しかしながら、第 1 の共振器 20 を保護しているフォトリソストに対して、追加の PZ 層 25 は残留する。実施例の構成において、約 110nm の厚さを備えた追加の PZ 層 25 は、第 2 の共振器 30 の共振周波数に比較して約 3% 共振周波数を低くする。一つの例としてこの技術を使うことにより、共振周波数は、1~8% 低下させられる。

【0023】最後に、表面電極 28 と 38 が作られ、空洞 21 と 31 が、溶解あるいは他のやり方で除去され、共振器 20 と 30 がそれぞれ空洞 21 と 31 の上に懸架されるようにする。

【0024】2. 酸化により表面電極を質量負荷する薄膜共振器の製造

図 2 において、本発明の第 2 の実施例による装置 40 が 50

示されている。装置 40 は、基板 42 上に製造された第 1 の共振器 50 と第 2 の共振器 60 を有している。一つの例として、基板 42 は、シリコン基板でよい。

【0025】共振器 50 と 60 は、メカニカルウェーブを用いる音響共振器である。そのため、示されている共振器 50 と 60 は、それぞれ空洞 51 と 61 の上に作られている。装置 40 における第 1 の共振器 50 は、第 1 の空洞 51 の上に作られ、底部電極 52（「第 1 の底部電極」）、PZ 層 54（「第 1 の PZ 層」）、および、表面電極 56（「第 1 の表面電極」）を含んでいる。第 1 の PZ 層 54 は、大きなコア PZ 層 44 の一部分（「第 1 の部分」）でよい。電極 52 と 56 は、モリブデンから作られ、PZ 層 54 は、窒化アルミニウム（「A1N」）から作られる。しかしながら、電極と PZ 層とは他の適当な材料で作ってもよい。

【0026】装置 40 における第 2 の共振器 60 は、第 2 の空洞 61 の上に作られ、底部電極 62（「第 2 の底部電極」）、PZ 層 64（「第 2 の PZ 層」）、および、表面電極 66（「第 2 の表面電極」）を含んでいる。第 2 の PZ 層 64 は、コア PZ 層 44 の一部分（「第 2 の部分」）でよい。

【0027】一つの例として、第 1 の表面電極 56 は、二つの部分、導電体部分 57 と酸化された導電体部分 58 を備える。導電体部分 57 は、モリブデンを含み、酸化された導電体部分 58 は、酸化モリブデンを含む。第 1 の表面電極 56 は、空気と熱に曝されたとき徐々に酸化される導電体を使って作ることができる。この第 1 の表面電極 56 は、無制限に酸化される性質を備えていることが望ましい。すなわち、薄膜が受ける酸化の量を制限するような対酸化被膜を形成しないのがよい。酸化特性の検討のためには、例えば、C. A. Hampel によって編集された Encyclopedia of the Chemical Elements, Reinhold Book Corporation, New York, 1968, p. 419 が参考になる。第 1 の表面電極 56 に使える多数の導電体の酸化特性は、G. V. Samsonov 編集による The Oxide Handbook, IFI/Plenum Publishers, New York, 1973 が参考になる。

【0028】第 1 の表面電極 56 は、第 2 の共振器 60 における第 2 の表面電極 66 のような導電体層のみからなる普通の表面電極から製造を始められる。そのような第 1 の表面電極 56 が形成された後、装置 40 は、熱と空気に曝されて第 1 の表面電極 56 の表面を酸化して導電体酸化層 58（酸化された導電体部分 58）を形成する。第 2 の表面電極 66 と装置 40 の他の部分は、マスクを用いて酸化処理中は保護されている。マスクは、二酸化ケイ素他の硬質のマスクング材料である。第 1 の表面層 58 が十分に酸化されると、マスクは除去される。

【0029】例えば、第1の共振器50が上述したような寸法を備えているとき、第1の共振器50は、約300℃の空气中で約1時間加熱されて約5MHzあるいはそれ以上の共振周波数低下が得られる。熱を連続的に加えることで、第1の共振器50の共振周波数を、第1の表面電極56の酸化前の第1の共振器50の共振周波数に比較してあるいは第2の共振器60の共振周波数に比較して1～3%低下させることができる。

【0030】第1の共振器50を製造するために、第1の底部電極52、第1のPZ層54を含むコアPZ層44、および、第1の表面電極56が、従来周知の方法で作られる。次いで、表面電極56が酸化される。酸化は、空气中で第1の共振器50を加熱することによって実行できる。熱を連続的に加えながら、共振器を常時監視することによって、第1の共振器50における共振周波数低下の程度が、制御可能となる。例えば、第1の共振器50の共振周波数は、約1～6%の範囲で低下できる。

【0031】3. 表面電極の質量削減による薄膜共振器の製造

図3Aと図3Bに、本発明の第3の実施例による装置70と70aが示されている。図3Bの装置70aは、処理後の図3Aの装置70に相当する。従って、図3Bの装置70aにおける部材は、図3Aの装置70として示されているものに類似している。便宜上、装置70における対応する部材に類似する装置70aにおける部材は、同じ参照番号を付与され、類似しているが異なる部材は、文字「a」を伴う同じ番号を付与され、および、異なる部材は、異なる参照番号を付与される。

【0032】本発明の図示されている実施例に従って基板上に共振器を製造するために、底部電極層72が、基板71上に作り上げられる。図1における装置10あるいは図2における装置40と同様に、装置70は、空洞81（「第1の空洞」）を備え、この空洞の上に共振器80（「第1の共振器」）が、製造される。もちろん、第1の空洞81は、底部電極層72の製造前にエッチングされて充填されることができる。第1の空洞81上の底部電極層72のセクション（「第1のセクション」、通常、参照番号82によって示される）は、共振器

（「第1の共振器」）80のための底部電極82（「第1の底部電極」）として機能できる。第2の空洞91上の底部電極層72の他のセクション（「第2のセクション」、通常、参照番号92によって示される）は、他の共振器（「第2の共振器」）90のための底部電極92（「第2の底部電極」）として機能できる。ここで、第1の底部電極82と第2の底部電極92は、図示のように接続できる。あるいは、底部電極82と92は、図1における底部電極22と32と同様に分離しても良い。当該発明の技術を説明するためには、この設計的な選択は、重要ではない。

【0033】底部電極層72の上に、PZ層74が作られる。再び、一つの例として、PZ層74は、窒化アルミニウム（AlN）でよいが、他の適当な圧電材料であっても良い。次ぎに、表面電極層76が、PZ層74上に形成され、この表面電極層76は、所定の厚さ（「第1の厚さ」）を備える。例えば、上述された1900MHz共振器に対して、表面電極層76は、100nmの厚さを持つことができる。次いで、表面電極層76の選択された領域（一般的にカッコ79で示されている）が、部分的にエッチングされる。すなわち、表面電極層76の材料（例えば、モリブデン）が、除去されて表面電極76の薄い層を備えた選択領域79を生じる。簡単のために、選択領域79の厚さは、ここでは「第2の厚さ」と呼ぶことにする。図3Aは、本発明による部分的なエッチング処理後の装置70を示している。

【0034】最後に、選択領域79を備えた表面電極層76は、パターン化されて第1の表面電極79aと第2の表面電極77aを形成する。第1の表面電極79aと第1の底部電極82は、第1の共振器80を形成するPZ層74の部分84（「第1の部分」）を挟持する。第2の表面電極77aと第2の底部電極92は、第2の共振器90を形成するPZ層74の他の部分94（「第2の部分」）を挟持する。これらの処理は、第2の共振器90の共振周波数よりも高い共振周波数の第1の共振器80を備えた装置70aを生じる。

【0035】表面電極層76を部分的にエッチングするために、表面電極層76の選択領域79外は、マスクされる。次いで、選択領域79とマスクされた領域を含む装置70は、エッチング剤で処理される。エッチング剤は、希釈されたフッ化水素酸（HF）であることができ、HFの濃度に従って、処理は約1分間である。あるいは、表面電極層76は、イオンミリング、フォトリソ、スパッタエッチング他の技術を用いてエッチングされる。この発明の目的のために、表面電極層76をエッチングするために使われる実際の技術は、ここで挙げた方法に限定されない。最終的に、マスクは除去される。マスクの典型的な材料は、二酸化ケイ素（SiO₂）である。マスキングおよびエッチング処理は、従来周知である。

【0036】共振器に関して、例えば、150μm×200μmの大きさと、約1,900MHzの共振周波数を備えている第1の共振器80に関して、表面電極層76は、当初に約150nmの厚さを有することができる。部分的なエッチング処理が、数十nm、例えば、約20nmを削除して約3%だけ第1の共振器80の共振周波数を増加させる。一つの例として、選択領域79における表面電極層76の厚さの1～30%が削除され、厚さの減少の程度に対応して約1～6%だけ第1の共振器80における共振周波数が増加する。

【0037】4. 底部電極に質量負荷する薄膜共振器

の製造

図4は、本発明の第4の実施例による装置100を示すものである。装置100は、基板102の上に作られた第1の共振器110と第2の共振器120を備えている。一つの例として、基板102は、シリコン基板である。

【0038】共振器110と120は、メカニカルウェーブを用いる音響共振器である。そのために、図示されている共振器110と120のそれぞれは、それぞれ空洞111と121上に作り上げられる。装置100における第1の共振器110は、第1の空洞111の上に作られ、底部負荷電極113と第1の底部コア電極112の組み合わせである底部電極（「第1の底部電極」）、PZ材料114（「第1のPZ材料」）、および、表面電極116（「第1の表面電極」）を含んでいる。第1のPZ材料114は、PZ層104の一部分（「第1の部分」）である。図示の実施例において、電極112、113および116は、モリブデンから作られており、PZ層104は、窒化アルミニウム（「AlN」）を用いて作られている。しかしながら、他の適当な導電体材料が、電極のために使われても良い。同様に、他の適当な圧電材料も、PZ層104に使える。一つの例として、第1の底部コア電極112と底部負荷電極113が、同一の材料から作られる。

【0039】装置100における第2の共振器120が、第2の空洞121の上に作られ、底部電極122（「第2の底部電極」あるいは「第2の底部コア電極」）、PZ材料124（「第2のPZ材料」）および表面電極126（「第2の表面電極」）を含んでいる。第2のPZ材料124は、PZ層104の一部分（「第2の部分」）でよい。

【0040】ここで、第2の底部電極122と第1の底部コア電極112は、厚さと大きさが等しい。従って、第1の底部電極（以後、第1の底部コア電極112と底部負荷電極113の組み合わせを「112+113」と呼ぶ）は、第2の底部電極122よりも厚い。例えば、一つの例として、第1の底部コア電極112と第2の底部電極122は、約150nmの厚さでよく、底部負荷電極113は、第1の底部コア電極112に10~100nmの範囲で任意の厚みを加えることができる。これにより、第1の共振器110は、第2の共振器120よりも低い共振周波数を備えることになる。一つの例として、第1の共振器110の共振周波数は、1~6%の範囲だけ第2の共振器120の共振周波数よりも低くなる。

【0041】第1の共振器110を製造するために、底部負荷電極113が、まず作り上げられる。次いで、第1の底部コア電極112が、底部負荷電極113の上に作られる。次に、PZ層104が、作られる。最終的に、第1の表面電極116が、PZ層104の上に作ら

れる。図示のように、底部負荷電極113は、第1の空洞111をまたいでいる。

【0042】装置100を製造するために、底部負荷電極113が、まず作られる。次いで、第1の底部コア電極112と第2の底部コア電極122が作られ、第1の底部コア電極112は、底部負荷電極113の上に作られる。次に、PZ層104が作られ、PZ層104は、第1の底部コア電極112の上に第1の部分114と、第2の底部コア電極122の上に第2の部分124を有する。最終的に、第1の表面電極116と第2の表面電極126が、それぞれ第1の部分114と第2の部分124の上に作られる。

【0043】5. 表面電極の質量負荷とオーバーエッチングを行なう薄膜共振器の製造

図5Aと図5Bにおいて、装置130と130aが、本発明の第5の実施例を説明するために使われる。図5Bの装置130aは、処理後の図5Aの装置130を示している。従って、図5Bにおける装置130aの部材は、図5Aの装置130として示されているものと同じものである。便宜上、装置130における対応する部材に類似している装置130aの部材は、同じ参照番号が付与され、類似しているが異なる部材は、文字「a」を伴う同じ番号を付与され、および、異なる部材は、異なる参照番号を付与される。

【0044】本発明の図示されている実施例に従って基板132の上に共振器140と150を製造するために、第1の底部電極142と第2の底部電極152が、作られ、これらの電極は、それぞれ第1の空洞141と第2の空洞151にまたがっている。

【0045】次いで、圧電（PZ）層134が、両方の第1と第2の底部電極142と152に作られ、PZ層134は、第1の底部電極142の上に第1の部分144と第2の底部電極152の上に第2の部分154を有している。次に、表面電極層136が、作られ、表面電極層136は、第1の部分144の上に第1のセクション146と第2の部分154の上に第2のセクション156を有している。次に、表面負荷層138が、第1のセクション146の上に作られ、好ましくは第1のセクション146全体を覆うようにする。表面負荷層138は、導電性材料、絶縁材料、あるいは、その両方を含み、材料の限定はされないが、モリブデン、窒化アルミニウムあるいは二酸化ケイ素を含んでいる。次いで、表面負荷層138は、オーバーエッチングされて第1の表面電極（エッチングされた表面負荷層148と第1のセクションの組み合わせあるいは148+146）を形成する。すなわち、表面負荷層138と表面電極層136は、同時にエッチングされて第1の表面電極148+146を形成する。もちろん、SiO₂層のようなマスク層が、エッチング剤から電極148+146および156をパターン化するために使われる。

【0046】第2の表面電極156は、第1の表面電極148+146を作る工程と同じ工程で作ることができる。表面電極層136の第2の表面セクション156上には負荷電極が存在しないので、第2のセクション156を残して第2の表面電極156とし、および、第1の表面電極148+146を残しつつ、表面電極層136は、表面電極層136の他のすべての部分を削除するようにエッチングされる

【0047】単一の共振器、例えば、第1の共振器140を作るために、底部電極142が、まず作られる。次いで、PZ層134、表面電極層136、および、表面負荷層138が、順次作られる。表面負荷層138は、表面電極層136の第1のセクション146を覆うことが好ましく、第1のセクション146は、表面電極148+146の一部となる。最終的に、表面負荷電極層138と表面電極層136は、エッチングされ、第1の共振器140の表面電極148+146を形成する。これらの層138と136は、二つの工程でエッチングされる。しかしながら、一つの例として、これらは、一つの工程でエッチングされ、あるいは、オーバーエッチングされる。オーバーエッチングのために、表面負荷層138が、まずマスクされる。次いで、表面負荷層138と表面電極層136がエッチングされると同時にこれらの層のマスクされていない部分が除去される。マスクングには、二酸化ケイ素(SiO_2)が使える。

【0048】共振器に対して、例えば、約 $150\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の大きさを備えるとともに約1,900MHzの共振周波数を備える第1の共振器140に対して、底部電極142と表面電極層136は、それぞれ約150nmの厚さを有することができ、PZ層134は、約2100nmの厚さを有することができ、および、表面負荷層138は、10~100nmの範囲の厚さ、あるいは、表面電極層134の厚さの約1~6%の厚さを有することができる。1つの実施例で、この技術を使って、第1共振器の共振周波数を1~6%低くなる。

【0049】6. 圧電層を質量削減する薄膜共振器の製造

図6Aと図6Bにおいて、装置160と160aは、本発明の第6の実施例を説明するために示されている。図6Bの装置160aは、処理後の図6Aの装置160を示している。従って、図6Bにおける装置160aの部材は、図6Aにおける装置160の部材と同じである。便宜上、装置160における対応する部材と同一の装置160aの部材は、同じ参照番号が付与され、類似しているが異なる部材は、文字「a」を伴う同じ番号を付与され、および、異なる部材は、異なる参照番号を付与される。

【0050】本発明の図示されている実施例に従って基板上に共振器を作るために、底部電極層162が、基板161の上に作られる。図1の装置10あるいは図2の

装置40と同様に、装置160が、空洞171(「第1の空洞」)を備え、その上に共振器170(「第1の共振器」)が作られる。もちろん、第1の空洞171は、底部電極層162の形成前にエッチングされて充填されている。

【0051】第1の空洞171上の底部電極層162のセクション(一般的に参照番号172で示されている「第1のセクション」)は、共振器(「第1の共振器」)170に対する底部電極172(「第1の底部電極」)として機能することができる。第2の空洞181上の底部電極層162の他のセクション(一般的に参照番号181で示されている「第2のセクション」)は、他の共振器(「第2の共振器」)180に対する底部電極182(「第2の底部電極」)として機能することができる。ここで、第1の底部電極172と第2の底部電極182は、図示のように接続されることができる。あるいは、底部電極172と182は、図1の底部電極22と32のように分離されることもできる。本発明のこの技術を説明するためには、この設計事項は、重要ではない。

【0052】底部電極層162の上には、PZ層164が、作られる。再び、PZ層164は、一つの例として窒化アルミニウム(AlN)であるが、他の適当な圧電材料から構成しても良い。次ぎに、コアPZ層164の選択された部分(一般的にカッコ169で示されている)が、部分的にエッチングされる。エッチング工程は、PZ層の任意の場所を1~30%削除することができてPZ層の厚さの減少によって1~6%だけ形成される共振器170の共振周波数を増加させる。図6Aは、本発明による部分的なエッチング工程後の装置160を示している。

【0053】最終的に、表面電極層176が、第1共振器170が形成しているPZ層164の部分的にエッチングされた部分174の上に作られる。

【0054】PZ層164を部分的にエッチングするために、PZ層164の選択された部分169が、マスクされる。次いで、選択された部分169とマスクされた領域を備えた装置160は、エッチング剤で処理される。エッチング剤は、希釈されたフッ化水素酸(HF)であることができ、HFの濃度に従って、処理は約1分間である。あるいは、PZ層164は、イオンミリング、フォトレジスト、スパッタエッチング他の技術を用いてエッチングされる。この発明の目的のために、PZ層164をエッチングするために使われる実際の技術は、ここで挙げた方法に限定されない。最終的に、マスクは除去される。マスクに使われる典型的な材料は、二酸化ケイ素(SiO_2)である。マスクングとエッチング処理は、従来周知の技術である。

【0055】共振器に対して、例えば、約 $150\mu\text{m} \times 200\mu\text{m}$ の大きさを備えるとともに約1,900MHz

zの共振周波数を備える第1の共振器170に対して、PZ層164は、約2、100nmの厚さを備えることができる。選択された部分的にエッチングされる部分は、1〜30%薄くすることができ、第1の共振器170の共振周波数を1〜30%だけ増加することができる。

【0056】装置160と160aは、第2の空洞181上に作られた底部電極182、PZ層184(「第2の部分」)、および、表面電極186を備えた第2の共振器180を設けることも可能である。この場合、PZ層164の第2の部分184は、部分的にエッチングされていない。

【0057】以上の説明から、本発明が新規なものであり、従来周知の技術よりも優れていることが明らかになったと思われる。本発明は、単一の基板の上に異なる共振周波数を備えたFBARを形成する技術を開示するものである。本発明における特定の実施例が、図示されて説明されたが、この発明は、図示され説明されたような特定の形態あるいは配置に限定されるものではない。例えば、異なる構造、大きさ、あるいは、材料が、本発明を実施するために使える。本発明は、特許請求の範囲によって限定される。しかしながら、本発明の実施者への参考のために、下記に本発明の実施態様の幾つかを例示する。

【0058】(実施態様1) 基板(42)上に共振器(50、60)を製造する方法において、基板(42)上に第1の底部電極(52)、第1の圧電(PZ)層(54)および第1の表面電極(56)を備えた第1の共振器(50)を作り、 基板(42)上に第2の底部電極(62)、第2の圧電(PZ)層(64)および第2の表面電極(66)を備えた第2の共振器(60)を作り、前記第1の表面電極(56)を前記第1の共振器(50)の共振周波数を低下させるために酸化するようにした共振器の製造方法。

【0059】(実施態様2) さらに、前記第2の表面電極(66)の酸化を防ぐために前記第2の表面電極(66)をマスクによってマスクングする工程を含むようにした請求項1に記載の共振器の製造方法。

(実施態様3) 前記マスクを除去する工程を含むようにした請求項2に記載の共振器の製造方法。

【0060】(実施態様4) 前記第1の表面電極(56)が、モリブデンを含むようにした請求項1に記載の共振器の製造方法。

(実施態様5) 前記第1の表面電極(56)が、空気および熱に暴露されたとき漸進的に酸化する材料を含むようにした請求項1に記載の共振器の製造方法。

【0061】(実施態様6) 前記第1の表面電極(56)が、モリブデンを含み、前記基板(42)が、約1時間約300℃に加熱されて約5MHzだけ前記共振周波数を低下させるようにした請求項1に記載の共振器の

製造方法。

【0062】(実施態様7) 圧電(PZ)層(54)を挟持する底部および表面電極(56、52)を備え、前記表面電極(56)が、導電体部分(57)と酸化された導電体部分(58)とを備えているようにした共振器(50)。

【0063】(実施態様8) 前記表面電極(56)が、モリブデンを含むようにした請求項7に記載の共振器(50)。

(実施態様9) 前記PZ層(54)が、窒化アルミニウム(AlN)を含むようにした請求項7に記載の共振器(50)。

【0064】(実施態様10) 前記導電体(57)が、モリブデンを含み、前記酸化された導電体(58)が、酸化モリブデンを含むようにした請求項7に記載の共振器(50)。

【0065】(実施態様11) 前記表面電極(56)が、空気および熱に暴露されたとき漸進的に酸化する材料を含むようにした請求項7に記載の共振器(50)。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図2】本発明の第2の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図3A】本発明の第3の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図3B】本発明の第3の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図4】本発明の第4の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図5A】本発明の第5の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

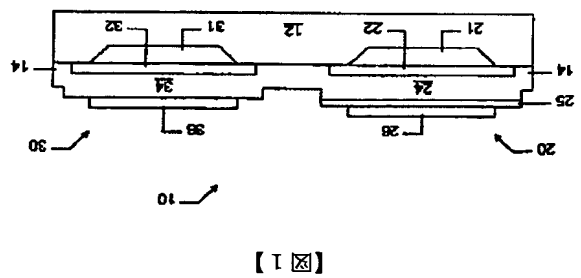
【図5B】本発明の第5の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【図6A】本発明の第6の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

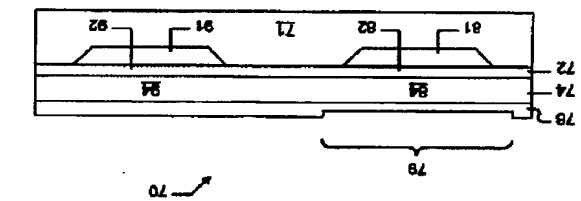
【図6B】本発明の第6の実施例による共振器を含む装置の簡易化側断面図である。

【符号の説明】

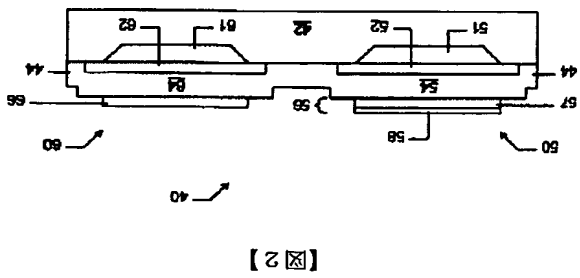
- 42 基板
- 44 コアPZ層
- 50 (第1)の共振器
- 52 第1の底部電極
- 54 第1の圧電(PZ)層
- 56 第1の表面電極
- 60 (第2の)共振器
- 62 第2の底部電極
- 64 第2の圧電(PZ)層
- 66 第2の表面電極



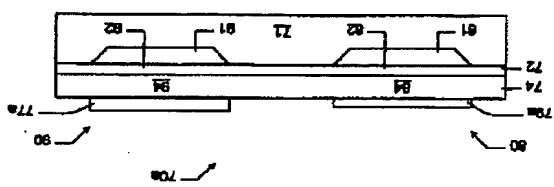
【図 1】



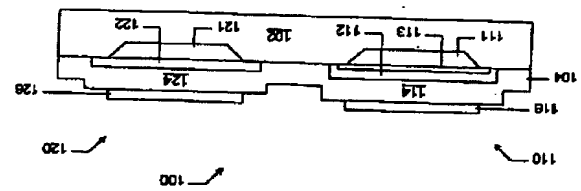
【図 3A】



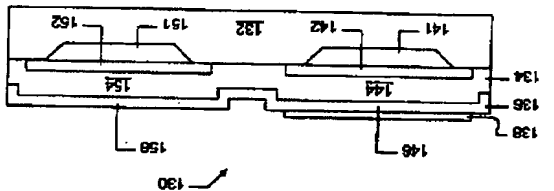
【図 2】



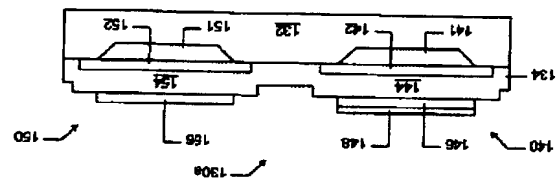
【図 3B】



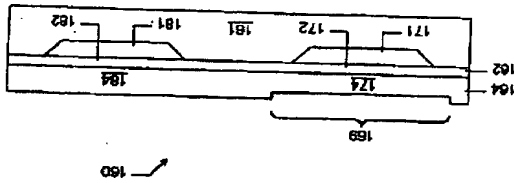
【図 4】



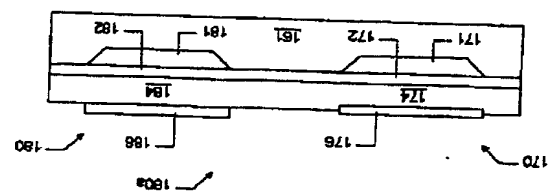
【図 5A】



【図 5B】



【図 6A】



【図 6B】

フロントページの続き

(72) 発明者 ジョシ・ライオン・サード
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロ・アルト
チニーノ・アベニュー143
リチャード・シー・ルビー
アメリカ合衆国カリフォルニア州メロ・パーク
サイナス・アベニュー567

(72) 発明者 ボール・デュー・フラッドリー
アメリカ合衆国カリフォルニア州ワウシェ
ン・ビュー・アパートメント120
ファイ
エット・ドライブ2680
Fターム(参考) 5J108 AA02 BB08 EE07 FF08 HH04
HH06 JJ01 KK05 MM14 NB06